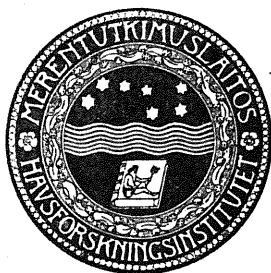


MERENTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISU N:o 138
HAVSFORSKNINGSINSTITUTETS SKRIFT

SUOMEN MERENRANNIKOIDEN VEDEN- KORKEUKSIEN LUKUISUUDET

S. E. STENIJ JA ILMO HELA

*ENGLISH SUMMARY:
FREQUENCY OF THE WATER HEIGHTS ON THE
FINNISH COASTS*



HELSINKI 1947 HELSINGFORS

MERENTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISU N:o 138
HAVSFORSKNINGSINSTITUTETS SKRIFT

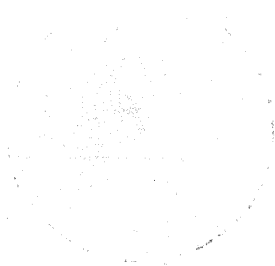
SUOMEN MERENRANNIKOIDEN VEDEN- KORKEUKSIEN LUKUISUUDET

S. E. STENIJ JA ILMO HELA

*ENGLISH SUMMARY:
FREQUENCY OF THE WATER HEIGHTS ON THE
FINNISH COASTS*



HELSINKI 1947 HELSINGFORS



Alkusanat.

Tämän julkaisun olennaisin tulos sisältyy lopussa olevaan vedenkorkeuksien kestävyystauluun, joka, samoin kuin myöskin kuvana 2 esitetyt kestävyysluvut, on allekirjoittaneen S. E. Stenij'n toimesta laskettu Merentutkimuslaitoksessa vuosina 1934—40.

Allekirjoittanut Ilmo Hela on joutunut työssään Merentutkimuslaitoksessa jatkuvasti käyttämään yllämainittuja kestävyystauluja. Kuitenkin niiden käytön yksinkertaistamiseksi olen ne laskenut uudelleen keskiveden (MW) suhteen ja korjannut taulussa olevat ylimmän veden (HW) ja alimman veden (LW) arvot huomioonottamalla maankohoamisen vaikutuksen sekä lisännyt kestävyystauluun keski-yliveden (MHW) ja keski-aliveden (MLW) arvot. Luvussa 5 mainitut lukuisuuslaskelmat ovat allekirjoittaneen Helan suorittamat.

Tämän julkaisun tekstin on laatinut allekirjoittanut Hela; luvut 10 sekä osittain myöskin luvut 2 ja 8 ovat kuitenkin alunperin allekirjoittaneen Stenij'n kirjoittamat.

Helsinki 4. 12. 1946.

S. E. Stenij.

Ilmo Hela.

Sisällys.

	siv.
1. Johdanto	5
2. Kestävyystaulun laskeminen	6
3. Referenssipinnan valinta	8
4. Havaintoaineiston laajuus	8
5. Kestävyyksien alueellinen erilaisuus	9
6. Keski-ylivesi (MHW) ja keski-alivesi (MLW)	13
7. Vedenkorkeuden vuotuinen kulku	14
8. Kestävyyksien vuotuinen vaihtelu	14
9. Kestävyyshvut lausuttuina NN:n suhteen	16
10. Esimerkkejä kestävyystaulun käytöstä	17
Kirjallisuusluettelo	18
English Summary	19

I. Johdanto.

Merentutkimuslaitos antaa lukuisia käytännön kysymyksiä, kuten esimerkiksi merenmittausta, satama- ja siltarakennuksia, salaojitussuunnitelmia, viemärirakennelmia, vaakitustöitä ym. varten tietoja vedenkorkeuden vaihteluista. Oman tärkeän ryhmänsä annettujen selvitysten joukossa muodostavat ne tiedot, jotka tavalla taikka toisella perustuvat eri vedenkorkeuksien lukuisuuksiin rannikoidemme eri kohdilla.

Tässä julkaisussa esitetään lyhyesti lukuisuuslukujen laskeminen ja niiden yhdistäminen koko merialueemme käsittäväksi kestävyystauluksi.

Mainittakoon, että Tulvakomitea esittää mietinnössään (1939, s. 255), pyrkiessään yhdenmukaisiin suomalaisiin hydrologisten käsitteiden nimityksiin täsmällisten määritelmien varassa, vedenkorkeuksien lukuisuus-(kestävyys-) käsitteiden suhteen mm. seuraavaa:

»Jonkin ajanjakson (esim. vuoden) kaikki vedenkorkeuslukemat ryhmitellään esim. 10 cm käsittäviin ryhmiin, jolloin tarkataan, montako lukemaa kussakin ryhmässä on. Tulos esitetään usein käyrällä, jossa ordinaattana on vedenkorkeus, usein ryhmien keskikorkeuksien mukaan, ja abskissana ryhmälukemain luku. Vielä useammin tuloksen esittämiseen käytetään ns. kestävyyskäyrää, jossa ordinaattana on ryhmän alaraja-lukema ja abskissana ryhmälukemain lukujen summa. Käyrä alkaa ylimmästä vedestä (abskissa 0) ja päättyy alimpaan veteen (abskissa 365, jos vuoden havainnot ovat alkuaineistona). Abskissa merkitään usein prosentteina, jolloin 100 % vastaa lukua 365. Kestävyyskäyrä (Dauerkurve, varaktighetskurva) ilmaisee, kuinka kauan mikin vedenkorkeus asteikolla on saavutettu tai ylitetty.»

Myöskin tämän esityksen puitteissa on pyrkimyksenämme ollut Tulvakomitean suosittelmien hydrologisten käsitteiden nimitysten johdonmukainen käyttäminen. Nimitykseen »kestävyys» tosin helposti liittyy mielikuva paitsi »pysyväisyydestä» (varaktighet), josta tässä lähinnä on kysymys, myöskin mielikuva »vahvuudesta» taikka »lujuudesta», pahimmassa tapauksessa jopa »uuraudestakin» (ihärdighet). Varsinkin merialueen vedenkorkeusvaihteluista puhuttaessa »lukuisuus» tietenkin kuvaa erittäin hyvin myöskin todellisia oloja, kun taas »kestävyys» on paremmin paikallaan erittäinkin sisävesien hitaiden vedenkorkeusvaihteluiden ollessa kyseessä. Koska kuitenkin matemaattisessa tilastotieteessä lukuisuudella ja kestävyydellä jo on vakiintunut merkityksensä, olemme niitä käyttä-

neet, vaikka »kestävyys» nimityksenä lieneekin asiaan huonosti perehtyneen mielestä ainakin aluksi jossakin määrin epäselvä.

Seuraavassa esitetään eräitä kestävyystauluun liittyviä johtopäätöksiä. Muihin vedenkorkeuskysymyksiin puututaan ainoastaan, mikäli ne välittömästi sivuavat kestävyystaulun laskemista tai sen käyttöä. Lisäksi valaistetaan kestävyystaulun käyttöä muutamien esimerkein.

2. Kestävyystaulun laskeminen.

Vedenkorkeusvaihtelut, jotka aiheutuvat vuorovesistä, voidaan laskea edeltäpäin suurella tarkkuudella. Meidän rannikoillamme vuoroveden vaikutus on kuitenkin varsin mitätön muista syistä johtuviin vedenkorkeuden vaihteluihin verrattuna. Vedenkorkeuden suuruutta määrättyssä paikassa maamme rannikolla määrättyinä hetkenä ei senvuoksi voidakaan etukäteen laskea.

Jollakin havaintoasemalla pitemmän ajanjakson kuluessa säännöllisesti suoritettuja vedenkorkeushavaintoja tarkastelemalla voidaan kuitenkin saada arvokkaita tietoja vedenkorkeusvaihteluiden luonteesta p. o. paikalla. Tilastollisesti voidaan muun muassa selvittää, millaisia poikkeamia keskivedestä rannikon eri kohdilla voi esiintyä, toisin sanoen, kuinka suuret poikkeamat ovat mahdolliset, ja kuinka yleisiä eri poikkeamat ovat. Jos havaintoasemia on riittävän tiheässä, päästään vastaavaan tulokseen koko rannikon suhteen.

Tämän julkaisun lopussa oleva kestävyystaulu esittää tätä tarkoitusta varten laaditun yhteenvedon kaikista vuosina 1929—38 maamme merenrannikoilla suoritetuista mareografihavainnoista. Kuvion jokaisen pystyviivan kohdalle on merkitty määrättyllä mareografiasemalla havaittujen eri vedenkorkeuksien kestävyudet, jotka on määrätty seuraavasti. ¹⁾

Jokaisen mareografin piirtämistä vedenkorkeuskäyristä Merentutkimuslaitoksessa on näihin aikoihin asti luettu ja julkaistu kuusi vuorokautista arvoa, joten jokaiselta mareografiasemalta on p. o. kymmenvuotiskauden ajalta käytettävissä 21 912 havaintoa. L u k u i s u s l u k u j e n laske-
miseksi nämä havainnot ryhmitettiin eri luokkiin siten, että korkeusas-
teikko jaettiin 5 cm väleihin, ja joka väliin kuuluvat vedenkorkeushavain-
not yhdistettiin yhdeksi luokaksi. Havaintojen j a k a u t u m i n e n mää-
rättiin laskemalla, montako havaintoa kuuluu kuhunkin luokkaan.

Jakautuminen voitaisiin esittää graafisesti l u k u i s u u s k ä y r i n ä siten, että tavalliseen tapaan jokaisen luokan keskikohta otetaan abskissaksi ja ordinaataksi merkitään vastaava lukuisuus.

¹⁾ Luvuissa 3, 4 ja 6 käsitellään referenssipinnan valintaa, havaintoaineiston laajuutta sekä keski-ylivettä ja keski-alivettä.

Saaduista lukuisuusluvuista eli frekvensseistä on kuitenkin siirrytty *kestävyysluku*ihin siten, että jokaisen luokkavälin kohdalle on merkitty niiden havaintojen lukumäärien summa, jotka kuuluvat p. o. luokkaan tai sitä korkeampiin luokkiin. Ennen tätä laskutoimitusta ilmoittaa johonkin määrättyyn väliin liittyvä luku p. o. välille sattuneiden vedenkorkeuksien lukumäärän. Laskutoimituksen jälkeen saadaan johonkin määrättyyn väliin liittyvän luvun avulla selville, että k. o. luvun ilmoittama määrä havaituista vedenkorkeuksista on ollut p. o. välin alarajan yläpuolella.

Näin saadut *kestävyysluvut* on vielä muutettu prosentuaalisiksi laske-
malla, montako % jokainen niistä on havaintojen kokonaislukumäärästä.

Kunkin aseman *kestävyyskäyrä* on piirretty abskissana vedenkorkeus ja ordinaattana edellä mainittu prosenttiluku. Näiltä käyriltä on haettu määrättyjä prosentteja vastaavat vedenkorkeudet, joiden avulla lopullinen *kestävyystaulu* on piirretty. Määrätty prosenttiluku ilmaisee siis, että niin monta prosenttia aseman vedenkorkeuksista on ollut ainakin niin korkealla, kuin prosenttilukua vastaava vedenkorkeus ilmoittaa.

Kestävyystauluun liitetyt ylin vesi ja alin vesi ¹⁾, jotka on merkitty Max. ja Min., on saatu huomioonottamalla kullakin asemalla kaikki vuoden 1938 loppuun mennessä suoritettut havainnot. Kysymyksen ollessa vanhemmista havainnoista maankohoamisen keskivettä alentava vaikutus havaintohetken ja kymmenvuotiskauden 1929—38 keskiajankohdan välillä voi olla huomattavan suuri. Tästä syystä on ylimmän ja alimman veden arvot ennen *kestävyystauluun* liittämistä korjattu WITTING'in (1943) laskemien maankohoamisarvojen avulla.

Kestävyystaulussa on eri asemia vastaavien pystyviivojen paikat määrätty siten, että etäisyydet ovat verrannolliset asemien todellisiin välimatkoihin. Viereisten asemien toisiaan vastaavat korkeuspisteet on lopuksi yhdistetty suorilla. Näin muodostuneet murtoviivat eivät yleensä muodosta suuria mutkia, vaan lähenevät sekä Pohjanlahden että Suomenlahden alueella suoria viivoja. Tästä syystä voidaankin lukumääränsä puolesta suhteellisen rajoitetun vedenkorkeusasemaverkoston avulla saatu tiasto yleistää jokaista mielivaltaista rannikon kohtaa varten.

Erikoisesti on syytä mainita vielä seuraavista seikoista. Kestävyystaulua piirrettäessä on Toppilassa (Oulu) suoritettut havainnot jätetty käyttämättä, koska Oulujoen suussa talvisin muodostuvan supon vaikutuksesta Toppilan vedenkorkeushavainnot eivät ilmeisestikään täysin vastaa varsinaisella merialueella esiintyviä vedenkorkeusvaihteluita. Erotukset havaintoihin perustuvien ja interpoloimalla saatujen *kestävyyksien* välillä olisivat kuitenkin olleet varsin pienet. Rauman mareografi on saatu toimintaan

¹⁾ Vrt. myöskin luku 6.

vasta p. o. kymmenvuotiskauden kuluessa, mistä syystä sillä suoritettuja havaintoja ei ole käytetty kestävyystaulun laskemisessa.

Huomattakoon myöskin, että kestävyystauluun on merkitty peräkkäin Mäntyluoto, Degerby ja Ruissalo. Jos taulun avulla halutaan saada tietoja eri vedenkorkeuksien kestävyyksistä rannikolla Mäntyluodon ja Ruissalon välillä, on paras ajatella näiden paikkojen toisiaan vastaavat prosenttiluvut yhdistetyiksi suorilla, joita ei ole kuvioon piirretty selvyiden vuoksi.

3. Referenssipinnan valinta.

Kestävyystaulu olisi voitu laskea joko Merentutkimuslaitoksen julkaisuissa käytetyn referenssipinnan tai normaalinollan (NN) taikka keskiveden (MW) suhteen. Merentutkimuslaitoksen referenssipinta on korvaamaton muuttumattoman korkeutensa vuoksi, mutta sen käyttäminen ei ole edullista tämäntapaisissa selvityksissä. NN-pinnan käyttöä lopullisena referenssipintana olisi puoltanut se seikka, että useimmat annetut selvitykset halutaan juuri normaalinollan suhteen.

Keskiveden käyttämisestä referenssipintana voidaan sanoa seuraavaa. Maankohoamiseen liittyvä keskiveden aleneminen on otettava huomioon kaikissa niissä pitempää aikaa varten suoritetuissa töissä ja laskelmissa, joissa keskivesi jossakin muodossa tulee kysymykseen. Kuitenkin on nimenomaan esimerkiksi kestävyystaulua laskettaessa parempi ajatella, että keskivesi pysyy suunnilleen muuttumattomassa korkeudessa, maankuoren siihen kiinnitettyine asteikkoineen, mareografeineen ja normaalinollaan liittyvine kiintopistepulteineen hitaasti kohotessa. Tästä syystä onkin kestävyystaulu laskettu keskiveden suhteen. Täten on saavutettu myöskin se etu, että taulu on sellaisenaan käyttökelpoinen myöskin tulevaisuudessa, mikäli ilmastolliset olosuhteet ja Tanskan salmien topografia pysyvät suunnilleen muuttumattomina.

Kohdassa 9 käsitellään erikseen kestävyysarvojen ilmoittamista normaalinollan suhteen.

4. Havaintoaineiston laajuus.

Kestävyystaulu on siis esitetty keskiveden suhteen. Sen laskemisvaiheessa ei kuitenkaan eri vuosina tehtyjä havaintoja ja luokkavälejä ole lausuttu keskiveden vaan Merentutkimuslaitoksen julkaisuissa käytetyn referenssipinnan suhteen. Todellisuudessa vedenkorkeusluokkien rajat vuosi vuodelta maan kohotessa siirtyvät ylemmäksi. Siten siis pitemmän ajanjakson kestävyystilasto ei enää anna eri arvojen kestävyydestä samaa kuvaa, kuin mitä esimerkiksi yhden vuoden tilasto antaa, mikäli eri vuo-

sien havaintoja ei ole ilmoitettu keskiveden vaan joko Merentutkimuslaitoksen referenssipinnan taikka normaalinollan suhteen.

Koska jokaisen vuoden kaikkien havaintojen muuntaminen ennen lukuisuuskien laskemista kunkin vuoden teoreettisen keskiveden suhteen lasketuksi on varsin suuri työ, on lukuisuuslukuja laskettaessa jouduttu valitsemaan kahden erilaisen pahan välillä: Jos käytetään liian suppeata aineistoa, ei suurten lukujen laki vaikuta varsinkaan keskivedestä enemmän poikkeavissa arvoissa vielä riittävässä määrin. Jos taas käytetään liian laajaa aineistoa, niin maankohoamisen vuoksi vedenkorkeudet hajaantuvat liian laajalle välille. Tämän seikan selventämiseksi mainittakoon, että jos kestävyystaulun laskemiseen käytettäisiin esimerkiksi 100 vuoden vedenkorkeusaineistoa asemalla, missä maankohoaminen saman ajan kuluessa on noin 100 cm, kasvaisi vedenkorkeusarvojen jakautumisalue luonnottoman laajaksi. Tällöin esittäisivät saadut kestävyyydet »100 vuoden kuluessa todennäköisiä eri vedenkorkeuksien kestävyyyksiä p. o. vuosisadan keskiajankohdan keskiveden suhteen ilmoitettuna», eikä missään tapauksessa esimerkiksi »eri vedenkorkeuksien todennäköistä jakautumista yhden vuoden aikana vuoden keskiveden suhteen ilmoitettuna».

Käyttäessämme 10 vuotta käsittävää aineistoa kestävyystaulun perustana olemme luultavasti sopivalla tavalla onnistuneet pääsemään riittävän laajaan tilastoon, ilman että maankohoamisen vaikutuksesta syntyvä virheellisyys vielä alkaisi muodostua mainittavaksi.

5. Kestävyyksien alueellinen erilaisuus.

Lopullista kestävyystaulua tarkasteltaessa kiintyy huomio ehdottomasti heti siihen seikkaan, että Itämeren keskiosien lähetyvillä, toisin sanoen alueella Degerby—Hanko vedenkorkeusvaihtelut ovat huomattavasti pienemmät kuin Pohjanlahden ja Suomenlahden sisäosissa. Tämä on tietenkin aivan luonnollista. Siitä huolimatta esitämme seuraavassa eräitä johtopäätöksiä tämän asiantilan johdosta.

Vedenkorkeuden vaihtelut voimme seuraavaa tarkastelua varten sopivasti jakaa kahteen eri ryhmään.

A. Ne vedenkorkeusvaihtelut, jotka johtuvat kullakin hetkellä Itämeressä olevan vesimäärän vaihteluista. Nämä vaihtelut ovat luonnollisestikin kaikkialla Itämeressä yhtä suuret. Tähän ryhmään kuuluvat vedenkorkeusvaihtelut johtuvat suureksi osaksi tuulien Tanskan salmissa synnyttämistä, joko sisään- taikka ulospäin kulkevista virtauksista, sekä myöskin jokien ja sateiden Itämereen tuomista vesimääristä ja haihtumisesta Itämeren alueella. Huomattakoon, että nämä muutokset tapahtuvat aina suhteellisen hitaasti suurimman muutosnopeuden ollessa arviolta 10 cm vuorokaudessa.

B. Ne vedenkorkeusvaihtelut, jotka syntyvät ilman Itämeren vesimäärässä tapahtuvia muutoksia. Tämän ryhmän vedenkorkeusvaihtelut liittyvät siis virtauksiin Itämeren altaassa. Ne ovat aina yhteydessä Itämeren vedenpinnan kaltevuuden muutoksien kanssa. Tähän ryhmään kuuluvat tuulen ja ilmanpaineen aiheuttamat vaihtelut, vuorovedet, vapaat heilahdukset sekä vielä meteorologisten tekijöiden aiheuttamat etenevät aallot. Kaikki tämän ryhmän vedenkorkeusvaihtelut eroavat edellisestä ryhmästä siinä suhteessa, että ne määrättyinä hetkenä ovat erilaisia meren eri osissa, ja myöskin siinä, että näiden muutosten nopeus voi olla varsin suuri, Helsingissäkin jopa aina 15 cm tunnissa. Ryhmään A kuuluvat vaihtelut peittyvät usein ryhmään B kuuluvien muutosten moninaisuuteen.

Kestävyystaulu osoittaa välittömästi, että Itämeren vedenpinnan kaltevuuden muutoksiin liittyvien vedenkorkeusvaihteluiden osuus kokonaisvaihteluihin on Itämeren keskiosissa pienempi kuin Pohjanlahden ja Suomenlahden sisäosissa.

Taul. 1 osoittaa Itämeren alueen keskimääräisten vedenkorkeuksien kestävyyydet (vuosien 1926—35 päivittäisten arvojen mukaan) prosenteissa keskiveden suhteen lausuttuina.¹⁾

Taul. 1. Itämeren alueen keskimääräisten vedenkorkeuksien kestävyyydet vuosien 1926—35 päivittäisten arvojen mukaan prosenteissa, keskiveden suhteen lausuttuina.

Tabl. 1. The frequency of the mean water heights of the whole Baltic according to the daily records during the years 1926—35 in reference to the MW.

Maks.	= 59.0 cm					
1 %	> 37.8 cm	25 %	>	13.5 cm	80 %	> -14.5 cm
2 %	> 33.2 cm	30 %	>	11.0 cm	90 %	> -20.2 cm
3 %	> 30.8 cm	40 %	>	6.8 cm	95 %	> -25.8 cm
4 %	> 29.5 cm	50 %	>	2.2 cm	96 %	> -27.8 cm
5 %	> 28.2 cm	60 %	>	- 3.2 cm	97 %	> -30.0 cm
10 %	> 23.0 cm	70 %	>	- 8.8 cm	98 %	> -33.2 cm
20 %	> 16.5 cm	75 %	>	-11.8 cm	99 %	> -40.0 cm
					Min.	= -52.0 cm

Vertaamalla taulukon 1 prosenttilukuja lopullisessa kestävyystaulussa oleviin Degerbyn kestävyyksiin huomataan, että Itämeren alueen keskimääräisen vedenkorkeuden vaihteluiden laajuus on noin 90 % Degerbyssä havaittujen vaihteluiden laajuudesta. Jo tästäkin voimme päätellä Itämeren keskiosien vedenkorkeusvaihteluiden suurimmaksi osaksi johtuvan Itämeressä kullakin hetkellä olevan vesimäärän muutoksista. Kahden eri kestävyyskäyrän välitön vertaaminen ei kuitenkaan anna mitään luotettavaa numerotulosta mainitulle riippuvaisuussuhteelle.

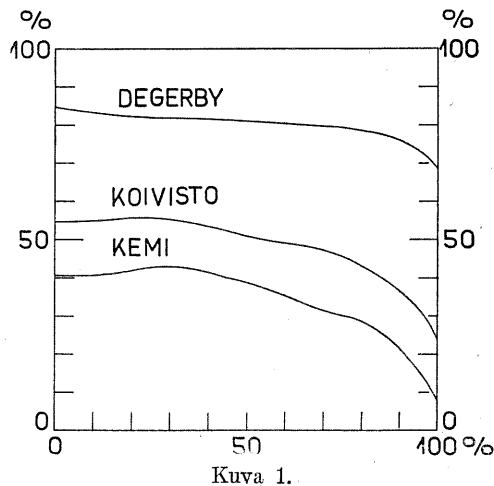
¹⁾ Taul. 1 on otettu sellaisenaan erästä aikaisemmasta Merentutkimuslaitoksen julkaisusta (HELA, 1944).

Saadaksemme käsityksen vedenkorkeusvaihtelu-ryhmien A ja B osuudesta havaittuihin vedenkorkeuksiin menettelemme seuraavasti. Otamme tarkastelun kohteeksi ne vuosien 1926—35 Kemin, Degerbyn ja Koiviston vedenkorkeushavainnot, jotka on tehty kello 14, ja lausumme ne keskiveden suhteen. Kullekin asemalle laskemme näiden (3 652 havaintoa) perusteella kestävyyskäyrän ja nimitämme näiltä saatuja prosenttiarvoja »alkuperäisiksi kestävyysarvoiksi.»

Toisaalta otamme Itämeren alueen keskimääräistä vedenkorkeutta edustavat vastaavat luvut samoilta vuosilta. Lausumme edellä mainitut, Kemissä, Degerbyssä ja Koivistolla havaitut vedenkorkeudet Itämeren alueen samanhetkisen keskimääräisen vedenkorkeuden suhteen. Tämän jälkeen laskemme kullekin asemalle näiden korjattujen vedenkorkeusarvojen perusteella uuden kestävyyskäyrän ja nimitämme niiltä saatuja prosenttiarvoja »korjatuiksi kestävyysarvoiksi».

Alkuperäiset kestävyysarvot edustavat kaikkia määrättyllä paikalla tapahtuvia vedenkorkeusvaihteluita. Korjatut kestävyysarvot taas antavat käsityksen niiden vedenkorkeusvaihteluiden kestävyyksistä, jotka syntyvät ilman Itämeren vesimäärässä tapahtuvia muutoksia.

Alkuperäisten ja korjattujen kestävyysarvojen kokonaisjakautumisten avulla ei voida päätellä vielä mitään siitä, kuinka suuri osuus kullakin asemalla vedenkorkeuden vaihteluihin on Itämeren vesimäärän vaihteluilla ja toisaalta muilla tekijöillä yhteisesti. Tämä tapahtuu kuitenkin varsin yksinkertaisesti kuvassa 1 olevan graafisen esityksen avulla, joka on laskettu seuraavasti. Otetaan ensin esimerkiksi Degerbyn alkuperäisiä kestävyysarvoja 45 ja 55 % edustavat vedenkorkeudet. Niiden välin pituus on 5.4 cm. Samaten lasketaan vastaavien korjattujen kestävyysarvojen väli, jonka pituudeksi saadaan 0.9 cm. Jälkimmäisen välin pituus on alkuperäisten kestävyysarvojen perusteella määrätyn välin pituudesta 16.7 %. Tämä prosenttiluku ilmaisee, paljonko niistä vedenkorkeuksista, jotka muodostavat 10 %



Kuva 1. Itämeren vesimäärän vaihteluiden osuus prosentteina vedenkorkeuden vaihteluihin eri havaintoasemilla. Abskissana esityksessä on prosentteina ilmoitettuna se, tavallisimman veden molemmin puolin jakautunut aineiston määrä, johon käyrien pisteet kulloinkin viittaavat.

Fig. 1. The part of the deviation of the observed water heights from mean water, due to changes in the water volume of the Baltic basin, in percentages of the total deviations. The abscissa of the representation gives in percentages the part amount of the material, situated on both sides of the most frequent water, to which the points of the curves refer.

ryhmän jakautuneena tavallisimman veden molemmin puolin, johtuu Itämeren vedenpinnan kaltevuuksista. Vastaavasti johtuu 83.3 % Itämeressä kulloinkin olevan vesimäärän vaihteluista.

Tällä tavalla on piste pisteeltä määrätty Itämeren vesimäärän vaihteluiden osuus vedenkorkeusvaihteluihin eri suuruisia aineiston osia käyttäen. Planimetroimalla saadut keskiarvot osoittavat, että Itämeren vesimäärän vaihteluiden osuus vedenkorkeusvaihteluihin on Kemissä 35 %, Degerbyssä 81 % ja Koivistolla 49 %. Nämä luvut ovat todennäköisesti hiukan liian alaiset Itämeren keskimääräisen vedenkorkeuden laskemisessa käytetyn vedenkorkeusasemaverkoston eräistä puutteellisuuksista johtuen.

Joka tapauksessa voidaan siis edellisen perusteella todeta, että alueella Degerby—Hanko vedenkorkeusvaihtelut johtuvat pääasiassa Itämeressä kulloinkin olevan vesimäärän vaihteluista ja siis välillisesti ennen kaikkea tuulista Tanskan salmien alueella. Mitä kauemmaksi Pohjanlahden ja Suomenlahden sisäosiin siirrytään, sitä suuremmaksi muodostuu Itämeren alueen tuulien, vapaiden heilahdusten ym. tekijöiden osuus vedenkorkeusvaihteluihin. Koivistolla on molempien vedenkorkeuden vaihteluita aiheuttavien tekijäryhmien osuus suunnilleen yhtä voimakas. Kemissä sen sijaan Itämeren vesimäärän vaihteluiden osuus on enää vain noin 35 %.

Esittämämme kestävyystaulun mielenkiintoisen täydennyksen muodostaisivat samojen vuosien perusteella lasketut esitykset Itämeren muiltakin rannikoilta. Harvinaisen ekstreemien arvojensa vuoksi olisi epäilemättä Leningradin mareografin kestävyyskäyrä kaikkein mielenkiintoisin. Pohjanlahden Suomen puoleisen rannikon kestävyudet vastannevat jokseenkin tarkoin kestävyyskäyriä myöskin Ruotsin rannikolla. Varsinaisen Itämeren altaan rannikoiden vedenkorkeuksien kestävyudet sekä Ruotsista että Itämeren itä- ja etelärannikoilta eivät ole olleet käytettävissämme.¹⁾ Kestävyystaulujen laskemisen huomattavan suuritöisyyden vuoksi, ja koska taulut muodostuvat ensi sijassa asianomaisen maan omaksi hyödyksi, olemme voineet laatia ne ainoastaan oman maamme rannikoille.

Esittämillämme tuloksilla lieene merkityksensä myöskin muinaisraunoista kiinnostuneille kvartaärigeologeille. Tässä yhteydessä olisi tärkeätä voida lausua jotakin myöskin tuloksien yleispätevyydestä. Siitä voidaan kuitenkin esittää vain pari irrallista ajatusta.

Hangan mareografi on ollut toiminnassa vuodesta 1887 lähtien. Laskeamalla eri kymmenvuotiskausille keski-yliveden (= vuosimaksimien keskiarvo) ja keski-aliveden (= vuosiminimien keskiarvo) korkeudet kunkin periodin keskiveden suhteen ja käyttämällä näin saatuja arvopareja vedenkorkeusvaihteluiden jakautumisen mittana, tullaan siihen käsitykseen, että mitään huomattavampia muutoksia kestävyyksissä tuskin on tapahtunut.

¹⁾ *Schou* (1945) esittää erinomaisessa teoksessaan »Det marine Forland» Jyllannin niemimaan länsirannikolla Hornbækissa suoritettujen havaintojen perusteella mm. muutamien kestävyysvuotuisen vaihtelun.

Toisaalta kuitenkin esimerkiksi Leningradin tulvista noin kolmen sadan vuoden ajalta olevat tiedot osoittavat, että suurimmat tulvakatastrofit sattuvat noin kerran vuosisadassa (BRUNS, 1933). Tämä seikka epäilemättä viittaa siihen, että kymmenen vuotta taikka muutamia kymmeniä vuosia käsittävät tilastot ovat aivan liian suppeita antamaan lopullista käsitystä ääriarvoista.

Pysyvät muutokset kestävyystauluun voivat aiheutua ensinnäkin ilmastollisten olojen muuttumisesta, jolloin vastakohtaisuus Kemian ja Degerbyn välillä edelleenkin joko jyrkkenee tai tuuliolojen tasaantuessa heikkenee. Toisaalta Tanskan salmien syveneminen aiheuttaisi Itämeressä vesimäärän vaihteluiden huomattavan vilkastumisen. Salmien mataloituminen taasen olisi omiaan pienentämään vedenkorkeusvaihteluja, joskin jatkuva mataloituminen tietenkin lopulta aiheuttaisi Itämeren muuttumisen järveksi, jonka vedet laskisivat Pohjanmereen Tanskan salmien kautta, ja jossa myöskin vesimäärän vaihteluista johtuvat vedenkorkeusvaihtelut muuttaisivat kokonaan luonnettaan.

6. Keski-ylivesi (MHW) ja keski-alivesi (MLW).

Tulvakomitea suosittelee vuosimaksimien ja -minimien keskiarvoista käytettäväksi nimityksiä keski-ylivesi ja keski-alivesi, joita olemmekin käyttäneet. Prosenteissa ilmaistu, suureen aineistoon perustuva kestävyystaulu antaa luonnollisestikin paljon tarkemman ja yksityiskohtaisemman kuvan vedenkorkeuden vaihteluista kuin konsanaan keski-ylivesi ja keski-alivesi. Koska kuitenkin tehtyjen tiedustelujen yhteydessä alituisesti puhutaan mainituista keskiarvoista, on ne katkoviivoina lisätty lopulliseen kestävyystauluun. Näiden suhteen mainittakoon seuraavaa.

Degerbyssä vastaa keski-ylivettä kestävyys 0.2 % ja keski-alivettä 99.5 %. Kemissä ovat vastaavat kestävyyydet 0.1 % ja 99.9 %, Koivistolla noin 0.1 % ja noin 99.9 %. Näistä arvoista ilmenee, että keski-yliveden ja keski-aliveden rajoittaman välin ulkopuolelle lankeaa Itämeren keskiosan läheisyydessä suurempi osa vedenkorkeuksista kuin Pohjanlahden ja Suomenlahden sisäosissa. Tämä johtuu siitä, että esimerkiksi Kemissä yksi ainoa merenpinnan kaltevuudesta johtuva harvinaisen korkea vesi nostaa keski-yliveden arvoa huomattavasti, kun se taasen kestävyysarvoihin ei nopeasti ohimenevänä ilmiönä ehdi vaikuttaa juuri sen enempää kuin jonkinverran alhaisempikaan ylin vesi. Tässä suhteessa siis olosuhteet Itämeren keskiosien lähistöllä muistuttavat hiukan olosuhteita järvissä.

Mainittakoon tässä yhteydessä myöskin siitä, että tavallisin vesi, jota vastaa kestävyysarvo 50 %, on kaikkialla ja varsinkin Itämeren keskiosissa hiukan keskiveden yläpuolella.

7. Vedenkorkeuden vuotuinen kulku.

Ennen kestävyyksien vuotuisen vaihtelun tarkastelua on syytä lyhyesti viitata myöskin vedenkorkeuden vuotuisen kulkuun, vaikkakin sitä on perusteellisemmin käsitelty toisissa yhteyksissä (mm. HELA, 1947).

Vedenkorkeuden vuotuinen kulku — kuukausikeskiarvojenkin mukaan — voi eri vuosina poiketa varsin paljon siitä tuloksesta, mihin päästään useita vuosia käsittävän aineiston avulla. Käyttämällä Russarön asteikon ja Hangon mareografin havaintoja vuosilta 1866—1945 antaa harmoninen analyysi vuotuiselle kululle seuraavan yhtälön

$$h(t) = 9.36 \sin(t - 196^\circ) + 4.45 \sin(2t - 318^\circ),$$

missä amplitudit on ilmoitettu cm:nä, vaihekulman t muuttuessa vuoden kuluessa arvosta 0° arvoon 360° . Korkeampaa kertalukua olevien aaltojen amplitudit ovat vain joitakin millimetrejä. Vedenkorkeuden normaali vuotuinen kulku Itämeren keskiosissa on siis cm:nä keskiveden suhteen ilmoitettuna seuraavan tapainen.

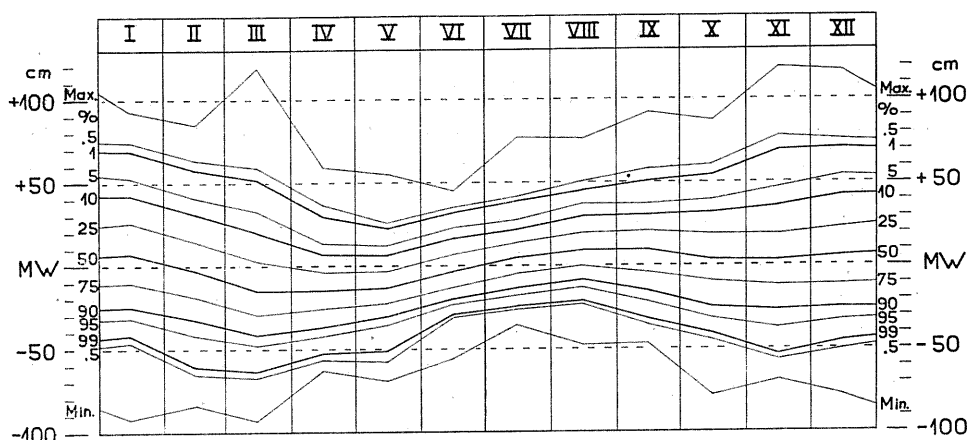
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
4	0	—10	—13	—13	—3	5	8	7	5	5	7

Kaikkialla maamme eteläisellä rannikolla on vuotuinen kulku varsin tarkoin samanlainen. Sensijaan Pohjanlahdella pohjoisemmaksi tultaessa vuotuinen kulku hiukan muuttuu: Sekä vuosi- että puolivuosisaallon amplitudi kasvaa. Siirryttäessä Ahvenanmaalta Kemiin vuosisaalto myöhästyy noin kolme viikkoa, kun taas puolivuosisaalto on Kemissä noin viikkoa aikaisempi. Näiden muutosten vaikutus kuukausikeskiarvoihin on suhteellisen vähäinen, joten yllä esitettyä vuotuista kulkua voidaan pitää suurin piirtein normaalina kaikkialla maamme rannikoilla.

8. Kestävyyksien vuotuinen vaihtelu.

Lopullisessa kestävyystaulussa ei ole tehty mitään eroa eri vuodenaikojen vedenkorkeusarvojen välillä. Kuva 2 esittää sen täydennyksenä eri vedenkorkeuksien kestävyyksien vuotuisen vaihtelun Helsingissä. Vuosien 1904—32 tammikuiden havainnot on käsitelty luvussa 2 selostetun menetelmän mukaisesti. Näin on saatu määrätyksi eri vedenkorkeuksien kestävyudet tammikuussa, mitkä sitten on merkitty tammikuun puolivälin kohdalle jne.

Tilaston laskemiseen on käytetty yhteensä 29 vuoden vedenkorkeusaineisto, minä aikana maa on kohonnut Helsingissä noin 8 cm. Tämän mukaisesti on kestävyystaulu kasvanut liian laajaksi vertikaalisessa suunnassa. Vastaavasti ovat kuviossa lähellä keskivettä olevat prosenttikäyrät



Kuva 2.

Kuva 2. Eri vedenkorkeuksien kestävyysien vuotuinen vaihtelu Helsingissä vuosien 1904–32 aineiston perusteella keskiveden suhteen lausuttuna.

Fig. 2. The annual change of the frequency of water heights in Helsinki according to the observations made in the years 1904–32 in reference to the MW.

jonkin verran liian kaukana toisistaan. Virheellisyys on kuitenkin vielä suhteellisen pieni.

Kuva 2 antaa käsityksen siitä, kuinka eri vuodenaikojen vedenkorkeuksien kestävyys eroavat toisistaan. Tavallisinta vettä esittävä 50 % käyrä liittyy jokseenkin hyvin edellisessä luvussa esitettyyn vedenkorkeuden vuotuisen kulkuun.

Kuviosta ilmenee, että vedenkorkeusvaihtelut ovat Helsingissä (ja yleensäkin rannikoillamme) suurimmillaan marraskuun ja maaliskuun välisenä aikana, pienimmillään taas touko-, kesä-, heinä- ja elokuussa. Samanlainen kestävyysien vuotuista vaihtelua esittävä tilasto on laskettu eräiden muidenkin asemien havaintoaineiston perusteella. Tulokset muistuttavat olennaisesti Helsingin vastaavaa tilastoa, mutta ne ovat yksityiskohdissaan epävarmempia, koska tällainen käsittely edellyttää huomattavan laajaa aineistoa. Sellainen on olemassa maamme rannikoilta ainoastaan Helsingistä, missä mareografi on ollut toiminnassa vuodesta 1904 lähtien, sekä Hangosta, missä mareografi on toiminut vuodesta 1887 lähtien. Suomen muut mareografiasemat on rakennettu yleensä 1920-luvulla.

Eri vedenkorkeuksien kestävyysien vuotuisen vaihtelun yhteydessä halutaan joskus saada tietoja myös vedenkorkeuksien kestävyysistä joko kasvukauden taikka purjehduskauden aikana. Näitä ei ole erikseen laskettu. Kuvan 2 mukaan voidaan kuitenkin arvioida, että kasvukauden aikana havaittavat vedenkorkeusvaihtelut ovat noin 25 % pienemmät ja purjehduskauden aikana havaittavat taas noin 15 % pienemmät kuin koko vuoden vaihtelut.

9. Kestävyyshluvut lausuttuina NN:n suhteen.

Koska kestävyystaulu on laskettu keskiveden suhteen, on kaikki siitä saatavat arvot tarvittaessa muunnettava normaalinollan suhteen lausutuiksi. Siirtymistä varten keskivedestä normaalinollaan on tunnettava sekä maankohoamisen suuruus että keskiveden määräystapa.

Määrätyn ajankohdan keskivedelle saadaan laskuperusteiden valinnasta riippuen jonkin verran toisistaan poikkeavia arvoja. Taul. 2 osoittaa eri mareografiasemien vuoden 1947 keskiveden cm:nä normaalinollasta lausuttuna. Keskiveden arvot on laskettu käyttämällä vuosien 1927—38 vedenkorkeusarvojen perusteella laskettua, vuoden 1933 alkuhetkeen liittyvää keskivettä, joka on senjälkeen kaavan

$$MW(1947.5) = MW(1927-38) - 14.5 \Delta h$$

mukaisesti muunnettu WITTING'in antamia maankohoamisarvoja käyttäen vastaamaan vuoden 1947 keskivettä. (Keskivesien (MW) arvot on lausuttu cm:nä, maankohoaminen yksiköissä cm/v. Kaavassa oleva numeroarvo 14.5 tarkoittaa aikaa vuosissa p. o. kahden keskiveden ajankohdan välillä.) Mainittujen maankohoamisarvojen avulla, jotka on annettu samassa taulukossa, voidaan esitetyjä keskiveden arvoja vuosi vuodelta korjata.

On syytä huomauttaa siitä, että jälleen suhteellisen pian tulevaisuudessa voidaan laajempaan ja uudempaan vedenkorkeusaineistoon perustuen laskea uudelleen sekä keskivettä edustavat perusarvot että myöskin maankohoamisen suuruus, jolloin niiden avulla määrättävissä olevat eri vuosien keskiveden arvot varmastikin hiukan poikkeavat taulukossa 2 esitettyjen perusteiden avulla saatavista arvoista.

Taul. 2. Mareografiasemien keskivesi ja maankohoaminen.

Tabl. 2. The mean water and the upheaval of the earth's crust at different mareograph stations.

Mareografi — Mareograph	Vuoden 1947 keskivesi NN:sta lausuttuna <i>MW of the year 1947 in refer- ence to the NN of the Finnish precision levelling</i>	Vuotuinen maankohoaminen cm:nä <i>The annual upheaval in cm</i>
Kemi	NN — 25 cm	1.03 cm
Toppila	NN — 24 cm	1.07 cm
Hornankallio (Raahe)	NN — 26 cm	1.03 cm
Leppäluoto	NN — 27 cm	0.90 cm
Vaskiluoto	NN — 24 cm	0.87 cm
Kaskinen	NN — 21 cm	0.80 cm
Mäntyluoto	NN — 18 cm	0.66 cm
Rauma	NN — 16 cm	0.60 cm
Ruissalo	NN — 9 cm	0.47 cm
Degerby		0.50 cm
Hanko	NN — 3 cm	0.40 cm
Helsinki	NN — 1 cm	0.28 cm
Hamina	NN ± 0 cm	0.30 cm

10. Esimerkkejä kestävyystaulun käytöstä.

Tämän julkaisun eräänä tarkoituksena on saattaa kestävyystaulu sitä tarvitsevien käyttöön. Siitä syystä esitetäänkin seuraavassa vielä muutamia esimerkkejä niistä mahdollisuuksista, mitä se tarjoaa käytännöllisten tehtävien ratkaisemiseksi.

1. kysymys. Mikä on suurin mahdollinen vedenkorkeus Mäntyluodossa?

Vastaus. Kestävyystaulusta nähdään välittömästi, että korkein Mäntyluodossa havaittu arvo on $MW + 88$ cm. Jos tahdotaan päästä vedenkorkeuteen, joka varmasti ei tule ylitetyksi, on laskettuun arvoon vielä lisättävä arviolta noin 20 cm. Vedenkorkeus Mäntyluodossa voi siis nousta korkeintaan noin 110 cm keskiveden yläpuolelle. Taulukon 2 mukaan on vuoden 1947 keskiveden korkeus Mäntyluodossa $NN - 18$ cm, joten siis lopputuloksena voidaan lausua, että vedenkorkeus Mäntyluodossa ei voi saavuttaa suurempaa korkeutta kuin $NN + 90$ cm. Maankohoamisen vaikutuksesta olisivat vastaavat luvut noin vuonna 1962 $MW + 110$ cm ja $NN + 80$ cm.

2. kysymys. Mikä on havaittu ylin vesi Espoossa?

Vastaus. Ottamalla huomioon, että Helsingin ja Espoon välinen etäisyys on noin kolmasosa Helsingin ja Hangon etäisyydestä, saadaan korkeimmalle Espoossa todetulle vedenkorkeudelle kestävyystaulun mukaan arvoksi $MW + 111$ cm, vastaten nykyisin korkeutta $NN + 110$ cm.

3. kysymys. Pellingin läheisyydessä olevassa väylässä on matalikkoja, joiden syvyys on 2.5 metriä. a) Kuinka syvässä kulkeva alus voi käyttää tätä väylää kaikissa olosuhteissa? b) Kuinka suuren osan vuodesta (keskimäärin) voi 2 m syvyydessä kulkeva alus käyttää tätä väylää? c) Kuinka suuren osan vuodesta (keskimäärin) voi 3 m syvyydessä kulkeva alus käyttää väylää? ¹⁾

Vastaus. Helsingin ja Pellingin välinen etäisyys on noin $2/5$ Helsingin ja Haminan välisestä etäisyydestä. Kestävyystaulusta todetaan tämän mukaisesti, että Pellingin alin vesi on noin 97 cm keskiveden alapuolella. Tästä seuraa, että a) alus ei saa kulkea syvemmällä kuin 1.5 m, jos sen aina tulee voida käyttää p. o. väylää. b) 2 m syvyydessä kulkeva alus voi käyttää väylää ainoastaan vedenkorkeuden ollessa suurempi kuin $MW - 0.5$ m. Kestävyystaulusta nähdään, että noin 98.8 % kaikista vedenkorkeuksista on tämän rajan yläpuolella, ja että siis noin 1.2 % havaintoajasta vedenkorkeus on mainitun rajan alapuolella. Väylä on siis käyttökelvoton yhteensä keskimäärin 4—5 vuorokautta vuodessa. c) 3 m syvyydessä kulkevalla aluksella on vastaava korkeusraja $MW + 0.5$ m. Vedenkorkeus on tämän rajan yläpuolella noin 2.5 % koko havaintoajasta. Väylää voidaan käyttää siis yhteensä keskimäärin vain noin 9 vuorokaudenajan vuodessa.

¹⁾ Matalien väylien käyttömahdollisuuksiin vaikuttavat lisäksi merenkäynti, aluksen nopeus ym., mitkä seikat on tässä yhteydessä jätetty kokonaan huomioonottamatta.

4. k y s y m y s. Kemin seudulla rakennettavaa laituria taikka pato-
tms. laitetta varten halutaan tietää, kuinka korkealle vesi siellä voi
nousta. Kustannusten pienentämiseksi on mainittu laite rakennettava
mahdollisimman matalaksi.

V a s t a u s. Kestävyystaulusta nähdään, että korkein havaittu arvo
on MW + 156 cm. Jos vedenkorkeus ei missään tapauksessa saa ylittää
p. o. rakennetta, on mainittuun arvoon lisättävä vielä varmuuden vuoksi
30—50 cm. Tämän varmuuslisän tulee Kemissä olla paljon suurempi kuin
esimerkiksi Helsingissä, koska vedenkorkeusvaihtelut Kemissä ovat suu-
remmat, ja koska sitäpaitsi vedenkorkeushavaintoja siellä on tehty suh-
teellisen lyhyen ajan kuluessa, mistä johtuen ei vielä voida olla läheskään
varmoja, etteikö tähän mennessä havaittu ylin vesi vielä voisi tulla yli-
tetyksi.

Jos sitävastoin sallitaan, että k. o. rakenne poikkeustapauksissa saa
jäädä veden alle, voidaan tyytyä huomattavasti pienempään korkeuteen.
Jos rakenne voi vuosittain olla veden alla ilman haitallisia seurauksia yh-
teensä esimerkiksi 3—4 vuorokautta, eli siis jos kaikista vedenkorkeus-
arvoista yhteensä 1 % voi olla korkeampia kuin p. o. rakenne, niin päädy-
tään vedenkorkeusarvoon MW + 84 cm. Tässä tapauksessa olisi siis kor-
keuden säästö 100—120 cm. Lisäksi on tietenkin huomattava, että lopul-
linen ilmoitus mahdollisesti on lausuttava normaalinollan suhteen. Jälleen
taulukon 2 avulla ilmenee, että arvoa MW + 84 cm vastaa nykyisin (v.
1947) korkeus NN + 59 cm.

Erikoisesti Perämeren ja Merenkurkun seuduilla on siis kaikissa tämän
tapaisissa laskelmissa välttämätöntä ottaa huomioon maankohoamisen
suuren nopeuden lisäksi myöskin normaalinollan ja keskiveden korkeuk-
sien välillä oleva suuri, alueellisesti erilainen ja nopeasti kasvava erotus.

Kirjallisuusluettelo — Bibliography.

- BRUNS, E. V., 1933. Einige statistische Angaben und Eigentümlichkeiten der Über-
schwemmungen in der Nevamündung. IV Hydr. Konf. d. Balt. St. Leningrad.
HELA, ILMO. 1944. Über die Schwankungen des Wasserstandes in der Ostsee mit
besonderer Berücksichtigung des Wasseraustausches durch die dänischen Ge-
wässer. Ann. Acad. Sc. Fenn. A I. 28. Helsinki.
— 1947. A study of the annual fluctuation of the heights of sea-level in the area
of the Baltic and the North Sea. Soc. Sc. Fenn., Comm. Phys.-Math. XIII. 10.
Helsinki—Helsingfors.
SCHOU, AXEL. 1945. Det marine Forland. Geografiske Studier over danske Fladkyst-
landskabers Dannelse og Formudvikling samt Traek af disse Omraaders Kultur-
geografi. Folia Geogr. Danica. Tom. IV. København.
Tulvakomitean mietintö. 1939. Helsinki.
WITTING, ROLF. 1943. Landhöjningen utmed Baltiska Havet under åren 1898—
1927. Fennia 68, N:o 1. Helsinki—Helsingfors.

English Summary: Frequency of the Water Heights on the Finnish Coasts.

An important part of the different informations and reports on water-level variations, given for practical purposes by the Institute for Marine Research, is based in some way or other on the frequency of the water heights on the Finnish coasts. The main purpose of this paper is to show how the frequency distribution of the water heights at any point on the Finnish coasts can be calculated by using the records of the 15 mareograph stations, by means of a graphical representation which is given in a table at the end of this paper. Some conclusions drawn from the frequency distribution at the different stations are given. The use of the frequency table is illustrated with some examples.

The calculation of the frequency table is explained in Chapter 2. The frequency distribution at each tide-gauge station is calculated by using 6 daily values for the years 1929—38 and a class interval of 5 cm. For each class the number of observations belonging to this class-interval or a higher one is calculated in percentage of the total number of observations (21 912). The number thus acquired is assigned to the lower limit of the class, and may be called the value (percentage) of duration of the water height in question. It represents the time, during which the actual water-level has exceeded this height, expressed in percentage of the total time of observation. The heights corresponding to the percentages 1, 2, 3 . . . have been determined by graphical interpolation.

For each station the heights corresponding to the percentages mentioned have been marked out on a vertical line with the height of mean water-level as zero point. The lines of the different stations are placed in the figure according to the positions of the stations, at distances proportional to the distances between the stations. The corresponding marks have been joined up by straight lines. A percentage of duration is thus represented by a polygon, the points of which are on the vertical scales belonging to the different tide-gauges. These polygons do not differ very much from straight lines neither on the area of the Gulf of Finland nor of the Gulf of Bothnia. Therefore the corresponding scales for any place on the coast between the stations are determined by the points of intersection between the percentage polygons and a vertical line corresponding to the geographical positions of the place in question.

A difficulty is caused by the upheaval of the earth's crust that is going on in Finland. The observations of water heights are originally referred to a fixed plane of reference which is rising with the earth. All water heights as well as the mean water values are therefore gradually sinking. The influence of the land rising tends therefore to increase the dispersion of the water height values, if a long series of observations is used. A correct calculation of the frequency distribution would therefore require the reduction of every water height to the actual mean water, e. g. to the yearly mean water for every year. This is not possible, as the labour involved would be too great. Mean water is introduced as plane of reference only after the calculation of the frequency values. Therefore, the observation material used may not extend over too long a time. On the other hand, if the material were to consist

of only a few years, its accuracy would be unsatisfactory, especially as to the highest and lowest values. The time of ten years has been considered appropriate.

Fig. 2 shows the annual change of the percentage heights in Helsinki, calculated in the same way by using the observations during 1904—32. The observations are originally given in a plane of reference, defined as height 200 cm below the mean water of a certain fixed period (1911—20). However, all the records given in Fig. 2 have been reduced to the mean water of the observation period.

The mean water heights for the year 1947 referred to the standard surface of the precision levelling system (NN) as well as to the land rising values for the different stations are given in Tabl. 2. This table can be used for reduction of the percentage heights to NN.

The values of high water and low water added to the frequency table are based on the whole observation material from every tide-gauge. These values have been reduced to the mean water 1929—38. The values of mean high water (the mean of yearly maxima) and mean low water (the mean of yearly minima) are based only on the material from the years 1929—38 and are given with dashed lines.

Even at a first sight of the frequency table it is noticed that the variations of the water heights are much smaller in the centre part of the Baltic than in the inner parts of the Gulf of Bothnia and the Gulf of Finland. The factors influencing the water-level in the area of the Baltic can be divided into two categories:

(A). The variations depending on the changes of the water volume contained in the whole basin of the Baltic. The principal cause of these changes is the inflow and outflow of water in the Danish Sounds originated by the winds. They occur rather slowly, the maximum speed being about 10 cm per diem.

(B). The variations depending on the winds and air-pressure differences in the area of the Baltic, tides, seiches, and progressing waves caused by meteorological factors. These variations differ from the ones of the group (A) therein that their amount and velocity varies regionally and even therein that they can occur with a rather great velocity, the maximum speed being even in Helsinki about 15 cm in an hour.

We have compared a) frequency values calculated from water-level records referred to the mean water of the whole period consisting of ten years, with b) frequency values calculated from daily records referred to the mean water-levels of the whole Baltic at the same moments. In this way the amounts originated by the changes in the water volume of the Baltic basin in percentages of the total changes of the water-level have been determined at different stations (Fig. 1). At Kemi about 35 per cent of the water-level variations are caused by the changes in the water volume of the Baltic, the corresponding value being at Degerby 81 and at Koivisto 49 per cent. These amounts are probably too small owing to the unsatisfactory accuracy in some cases of the value of the mean water heights of the whole Baltic. At all events it is evident that in the area of Degerby—Hanko the variations of the water-level are chiefly depending upon the variations in the water volume of the whole Baltic. In the inner parts of the Gulf of Finland and the Gulf of Bothnia the variations caused by other factors become more important.

A comparison with the results of a similar analysis of the water height records made at other points of the coasts of the Baltic would be of great interest. 1)

As to the annual change of the frequency of the water heights in Helsinki (Fig. 2) it can be noticed that the corresponding deviations from mean water are during the

¹⁾ It is worth mentioning that *Schou* (1945) gives in his excellent paper the annual change of the height and the frequency of the high water.

summer about 25 per cent smaller than during the whole year. For the navigation period (about May—December) the decrease is about 15 per cent. Annual variations have been ascertained only for Helsinki. At other stations, however, the conditions are similar.

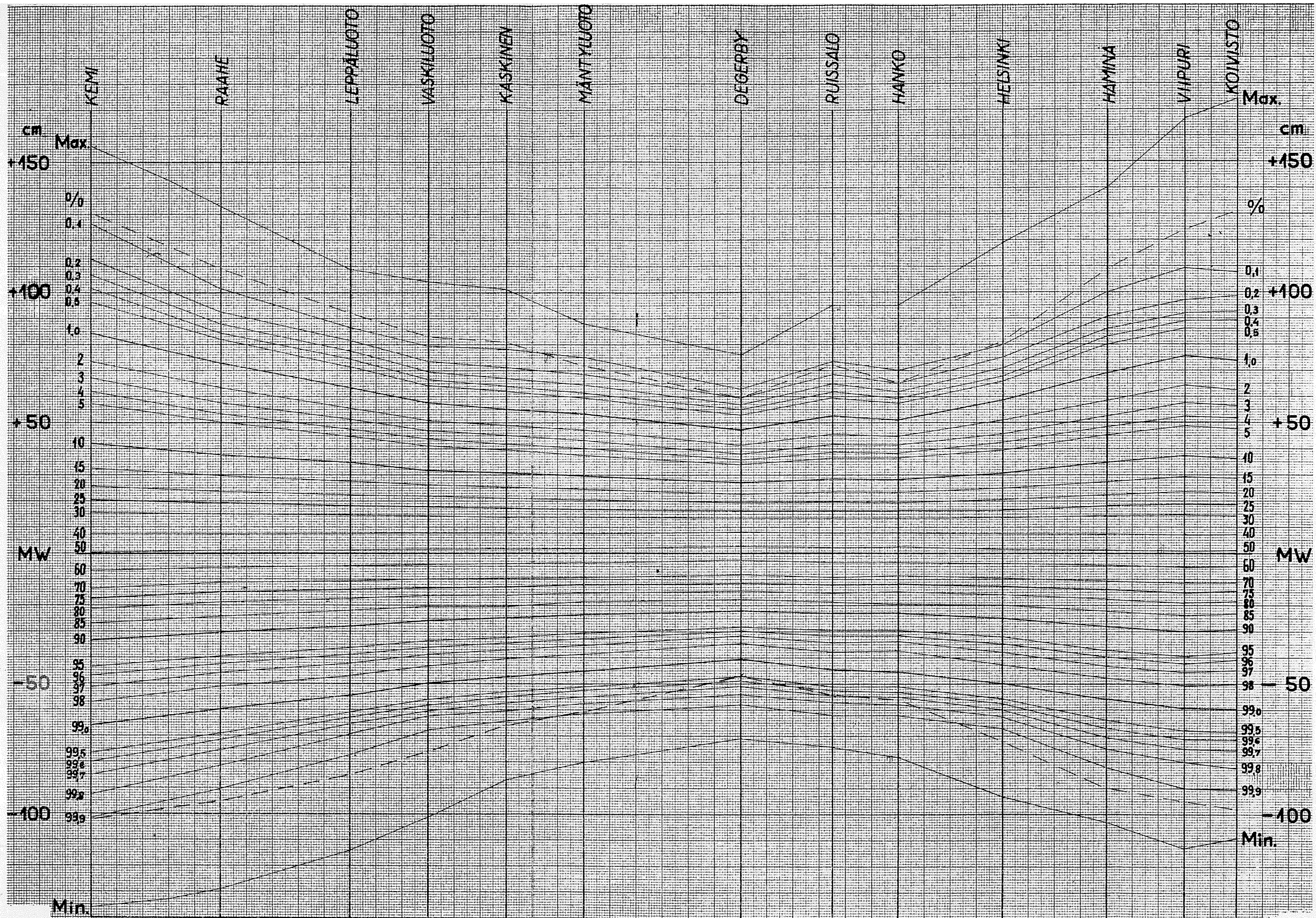
The use of mean water as a reference plane eliminates the effect of the upheaval of the earth's crust, and the results of the frequency statistics presented are thus serviceable also in the future or at least directly comparable to the results of a similar treatment of future observations. In this connection it is of interest to compare the water-level variations of the period investigated with those of earlier times. The tide-gauge of Hanko was installed already in 1887. The frequency distribution of earlier decades has been calculated and shows a remarkable conformity. The same applies even to the difference between the mean high water and the mean low water, which has been calculated for several decades. On the other hand, the experience of the great inundations of Leningrad shows that the greater flood catastrophes, on an average, occur only once in a century. This fact indicates, that a material consisting of only one or a few decades is too limited for definite conclusions with regard to extreme cases.

If one wishes to draw some conclusions with regard to the conditions in earlier millennia one should keep in mind that a greater cyclone activity corresponds to a greater contrast between the variations in the centre part of the Baltic and in the inner parts of the great Gulfs. On the other hand, the variations in the water volume of the Baltic, as well as the water-level variations depending upon them, have been much more intensive in ancient times when the depth of the Danish Sounds was greater. If the sounds were shallower, the variations in the water volume would also be smaller and, finally, in the case of a Baltic lake, they would be of a totally different character.

Taulu.

Taulu. Suomen merenrannikoiden vedenkorkeuksien kestävyystaulu vuosien 1929—38 havainto-
aineiston mukaan. (Keski-ylivesi ja keski-alivesi ovat esitetyt katkoviivoin.)

Table. The frequency (duration percentages) of the different water heights on the Finnish coasts
according to the observations made in the years 1929—38. (The dashed lines give the mean high
water and mean low water.)



50:—